

بررسی الگوی تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ شناگر آبی (*Portunus segnis*) و رسوبات در سواحل شمالی مکران

آمنه رنگیدن، مهران لقمانی*، محمدمنصور توتونی

گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵

چکیده

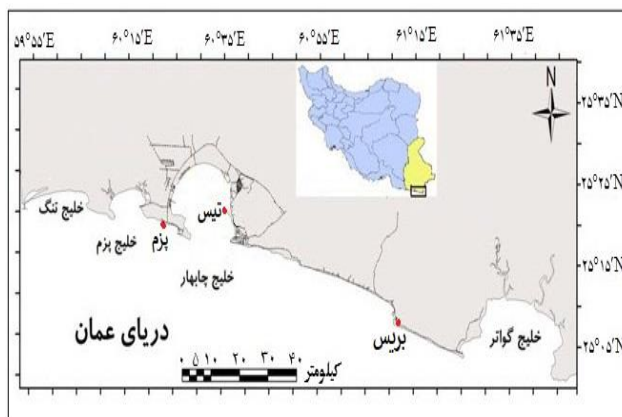
امروزه، فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های سمی در بوم‌سامانه‌های آبی هستند و آبریان در معرض این آلاینده‌ها قرار دارند. تجمع زیستی فلزات سنگین در آبریان یک خطر جدی در زنجیره غذایی انسان محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی تجمع فلزات کادمیوم، سرب و قلع در رسوبات و در بافت نرم (عضله و هیپاتوپانکراس) خرچنگ شناگر آبی (*Portunus segnis*) در دریای مکران (تیس، بریس و پزم) است. به این منظور، تعداد ۱۸ نمونه خرچنگ در زمستان سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از انجام زیست‌سنجی، آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها صورت گرفت و غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی قرائت شد. نتایج تحقیق نشان داد که در تمام ایستگاه‌ها، غلظت فلز قلع در هیپاتوپانکراس بیش از عضله بود و اختلاف آماری معنی‌دار بین ایستگاه‌ها وجود داشت ($P < 0.05$). غلظت فلز کادمیوم و سرب بین ایستگاه‌ها معنی‌دار نبود. فلز سرب با وجود تفاوت بسیار ناچیز، در عضله بیش از هیپاتوپانکراس بود. اما، کادمیوم، همانند قلع در هیپاتوپانکراس بیشتر از عضله به‌دست آمد. میانگین کلی تجمع فلزات سنگین قلع، سرب و کادمیوم در بافت عضله به ترتیب $9/33 \pm 4/5$ ، $0/88 \pm 0/4$ و $0/065 \pm 0/017$ ؛ در بافت هیپاتوپانکراس $16/75 \pm 8/4$ ، $0/37 \pm 0/13$ و $0/08 \pm 0/009$ ؛ در رسوب نیز $125 \pm 12/21$ ، $8/3 \pm 0/32$ و $0/14 \pm 0/0024$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. طبق نتایج، الگوی تجمع برای فلزات سنگین در هر سه منطقه مورد مطالعه، در بافت و رسوب به صورت قلع < سرب < کادمیوم به‌دست آمد. در بافت هیپاتوپانکراس که یک بافت سم‌زدا است، غلظت بیشتری از فلزات نسبت به عضله تجمع یافت. مقایسه غلظت فلزات در عضله خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه با استانداردهای بین‌المللی (NSHF و FDA، FAO، WHO) نشان داد که غلظت هر سه فلز مورد مطالعه نسبت به تمامی استانداردها پایین‌تر بوده است. بنابراین، مصرف عضله خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه خطری در بر نداشته است. مقایسه نتایج این مطالعه با استانداردهای کیفیت رسوب نشان داد که فلز کادمیوم و سرب نسبت به استانداردهای کیفیت رسوب، غلظت کمتری داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات آن منطقه نبوده‌اند.

کلید واژگان: فلزات سنگین، آلودگی، *Portunus segnis*، دریای مکران

مقدمه

امروزه آلودگی آب‌های دریایی توسط طیف وسیعی از آلاینده‌ها به یکی از اساسی‌ترین مشکلات جهانی تبدیل شده است (Makare Shireh *et al.*, 2016). یکی از این آلاینده‌های خطرناک در اکوسیستم‌های آبی، فلزات سنگین می‌باشند (Humtsoe *et al.*, 2007). در واقع، امروزه آثار صنعتی شدن، کشاورزی متراکم و مهندسی ساحلی (از جمله گردشگری)، زندگی جانداران دریایی را به‌طور جدی تهدید کرده است (Asaolu *et al.*, 2009). فلزات سنگین از هر دو منبع طبیعی و انسانی وارد اکوسیستم آبی می‌شوند که ممکن است در نتیجه تخلیه مستقیم یا از طریق غیرمستقیم، مانند رسوبات جوی و رواناب سطحی باشد (Bashir *et al.*, 2020). بیش از ۸۰٪ از پسماندهای جامد، مایع و گازی حاوی غلظت سمی فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، مس، روی و نیکل بدون هیچ‌گونه بازیافت و نظارتی در محیط‌زیست به‌خصوص بوم‌سامانه‌های آبی دفع می‌شود. فقط ۱۸٪ از این مواد به‌طور اساسی قبل از دفع بازیافت می‌گردد (Oyewo and Don-Pedro, 2003). فلزات سنگین توسط موجودات آبی به‌خصوص گونه‌های مهم خوراکی برای انسان مانند ماهیان، سخت‌پوستان و صدف‌ها از منابع مختلف مثل آب، رسوبات و مواد غذایی جذب و در بافت‌های آن‌ها تجمع می‌یابند و ممکن است در اثر تجمع و بزرگنمایی زیستی غلظت آن‌ها به‌مرور زمان افزایش یافته و باعث صدمات شدید، اثرات سمی و ایجاد تغییرات فیزیولوژی و ریخت‌شناختی در آن‌ها شود (Bat *et al.*, 2020). بنابراین، فلزات سنگین در انسان از طریق مصرف غذاهای دریایی آلوده یک خطر بالقوه برای سلامتی است. به‌همین دلیل، پایش مداوم فلزات سنگین در گونه‌های آبی خوراکی امری ضروری است (Guérin *et al.*, 2011). این آلاینده‌ها که در زنجیره غذایی تجمع می‌یابند، مسئول عوارض جانبی و حتی مرگ آبزیان هستند (Shah *et al.*, 2017). از جمله موجودات کفزی در رسوبات، سخت‌پوستان هستند که فلزاتی را که در تماس مستقیم با محیط هستند در خود تجمع می‌دهند (Jesus *et al.*, 2021). سخت‌پوستان یکی از گروه‌های بی‌مهرگان بزرگ هستند که توزیع گسترده‌ای دارند و در انواع مختلفی از زیستگاه‌های آبی یافت می‌شوند. سخت‌پوستان به‌عنوان نشانگرهای زیستی برای بررسی واکنش مستقیم آلودگی آب‌ها بسیار مفید هستند (Akbulut

et al., 2014). در کنار بافت عضله به‌عنوان اندام تجمع‌کننده فلزات، هیپاتوپانکراس سخت‌پوستان یک اندام بسیار پویا است که عمدتاً مربوط به عملکردهای گوارشی است و مسئول اکثر فعالیت‌های سم‌زدایی است که به‌شدت به مواد سمی پاسخ می‌دهد (Jesus *et al.*, 2020). خرچنگ‌ها گروه بسیار متنوعی هستند که شامل ۵۰۰۰ گونه و ۷۰۰ جنس می‌باشند. گونه‌های توزیع شده در زیستگاه‌های مختلف نقش مهمی در حفظ اکوسیستم ایفا می‌کنند (Arya *et al.*, 2018). خرچنگ‌ها با نقب زدن رسوبات و درست کردن گودال سبب تغییر بافت رسوب شده و چرخه مواد مغذی اکوسیستم را تسریع می‌کنند (Wang *et al.*, 2010). *P. segnis* (Forsk., 1775) معروف به خرچنگ شناگر آبی از خانواده Portunidae و جنس *Portunus* است. این گونه یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری خرچنگ در خلیج فارس و دریای مکران است. این گونه از خرچنگ‌ها در سواحل ایران توسط ترال کفروب، تورهای گوشگیر، مشت‌ها، دام‌های ساحلی، به‌صورت گرگور و تفریحی صید می‌شوند. Safaie و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که پراکنش خرچنگ در ایران در مناطق جزر و مدی و زیرجزر و مدی تا عمق ۵۰ متر و خطوط ساحلی دریای مکران و خلیج فارس وجود دارد. دریای مکران دارای یکی از مهم‌ترین بوم‌سامانه‌های آبی جهان از نظر تنوع زیستی، منابع شیلاتی و منابع نفتی مهم است. در سال‌های اخیر به‌علت افزایش جمعیت شهرها، گسترش صنایع و افزایش تردد کشتی‌ها، لنج‌های قدیمی، قایق‌های صیادی، سوخت‌گیری و تعمیرات آن‌ها در اسکله‌ها باعث بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی در نقاط مختلف دریای عمان شده است (لیمویی و محبت‌کار، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر دو بافت عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ شناگر آبی به‌عنوان اندام‌های هدف انتخاب شده است. بافت عضله خرچنگ شناگر آبی به‌دلیل نقش مهمی که در تغذیه انسان دارد، به‌عنوان اندام هدف انتخاب شد (Astani *et al.*, 2018). بافت هیپاتوپانکراس به‌دلیل اینکه مانند کبد و کلیه به‌عنوان اندام سم‌زدا عمل می‌کند و دارای آنزیم‌های مهمی برای سلامت موجودات هستند و محل تجمع فلزات محسوب می‌گردند، در تحقیقات سم‌شناسی استفاده می‌شود (Liu *et al.*, 2021). هیپاتوپانکراس، یک اندام حساس مشابه کبد است که مستعد آسیب توسط آلاینده‌ها در محیط‌های آبی در سخت‌پوستان است (Liu *et al.*, 2021).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری خرچنگ شناگر آبی

سنجش فلزات سنگین: جهت هضم شیمیایی نمونه‌ها ابتدا بافت نرم (عضله و هیپاتوپانکراس) خرچنگ جهت خشک کردن درون شیشه‌های ساعت در داخل آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند (Cheraghi *et al.*, 2014). سپس، نمونه‌های خشک شده درون هاون چینی جهت هموژن کردن، پودر گردیدند تا برای هضم شیمیایی آماده شوند. جهت انجام هضم شیمیایی نمونه‌ها، به یک گرم نمونه پودر شده ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) اضافه شد. پس از صرف زمان حداقل ۳ ساعت جهت انجام عمل هضم مقدماتی در دمای اتاق، برای هضم کامل نمونه‌ها از پلیت داغ در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت استفاده شد. پس از اتمام عمل هضم، نمونه‌ها در معرض گرما قرار گرفت و قبل از این‌که به‌طور کامل خشک شوند از روی پلیت داغ برداشته شدند. نمونه‌ها با اسید نیتریک ۰/۰۴ رقیق شدند، سپس توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون صاف گردیده و پس از انتقال به بالن‌های حجم‌سنجی ۲۵ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شدند (لقمانی و همکاران، ۱۳۹۹). جهت اندازه‌گیری فلزات در نمونه‌های حاصل از هضم شیمیایی توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل Spect Varian AA220 استفاده شد.

سنجش فلزات سنگین در رسوب: برای آماده‌سازی رسوب، ابتدا اجسام درشت و خارجی از آن‌ها جدا شدند. سپس، نمونه‌های رسوب در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک گردیدند. پس از خشک شدن، رسوبات توسط الک ۳۳ میکرون غربال و سپس توسط هاون چینی به‌طور کامل جهت هموژن کردن پودر شدند. ۱ گرم از رسوبات پودر شده درون ارلن ریخته و

بنابراین هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه میزان تجمع زیستی فلزات سنگین سرب، کادمیوم و قلع در عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ شناگر آبی با استانداردهای جهانی به‌عنوان گونه ارزشمند اقتصادی و همچنین معرفی آن به‌عنوان یک نشانگر زیستی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، نمونه‌برداری از خرچنگ شناگر آبی در ۳ ایستگاه شامل بوسه، تیس و بزم در امتداد سواحل شمالی دریای مکران در سال ۱۳۹۹ صورت گرفت. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها با استفاده از دستگاه GPS مدل GPSMAP 64S ثبت گردید (شکل ۱). سپس، تمام نمونه‌های جمع‌آوری شده به تفکیک ایستگاه درون جعبه‌های حاوی پودر یخ به مجتمع آزمایشگاهی منتقل شدند. رسوبات سطحی نیز با استفاده از ظروف لوله‌ای فالکون در سه تکرار از هر ایستگاه جمع‌آوری و درون پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی در جعبه‌های حاوی پودر یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه، ابتدا جهت زدودن آلودگی سطحی با استفاده از آب دیونیزه و آب مقطر کاملاً شستشو داده شدند. پس از گذشت زمان کافی برای خروج آب اضافه تمامی نمونه‌ها کدگذاری و سپس زیست‌سنجی آنها انجام شد. طول کل نمونه‌ها توسط کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و وزن کل آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد و سپس دو بافت عضله و هیپاتوپانکراس شناسایی و جدا گردیدند و تا زمان انجام آزمایش در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نگهداری شدند (لقمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۱- نتایج زیست‌سنجی خرچنگ شناگر آبی (میانگین \pm انحراف معیار)

طول کاراپاس (میلی‌متر)	عرض کاراپاس (میلی‌متر)	وزن (گرم)
۷۱/۲ \pm ۳/۸ ^a	۱۳۴/۵ \pm ۷/۶ ^b	۲۹۱/۹ \pm ۵۳/۲ ^a
۷۴/۳۷ \pm ۴/۷ ^a	۱۲۸ \pm ۷/۴ ^a	۲۹۲/۰۸ \pm ۵۳/۵ ^a
۷۵/۷ \pm ۱۱/۶ ^a	۱۲۹/۸ \pm ۱۸/۲ ^a	۳۳۴/۱۶ \pm ۱۲۴/۶ ^b

*حروف همسان نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار بین ایستگاه‌ها است.

معنی‌داری بین ایستگاه‌ها است ($P < 0.05$) و پس از من نشان داد بین بریس و تیس و بین تیس و پزم اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.05$).

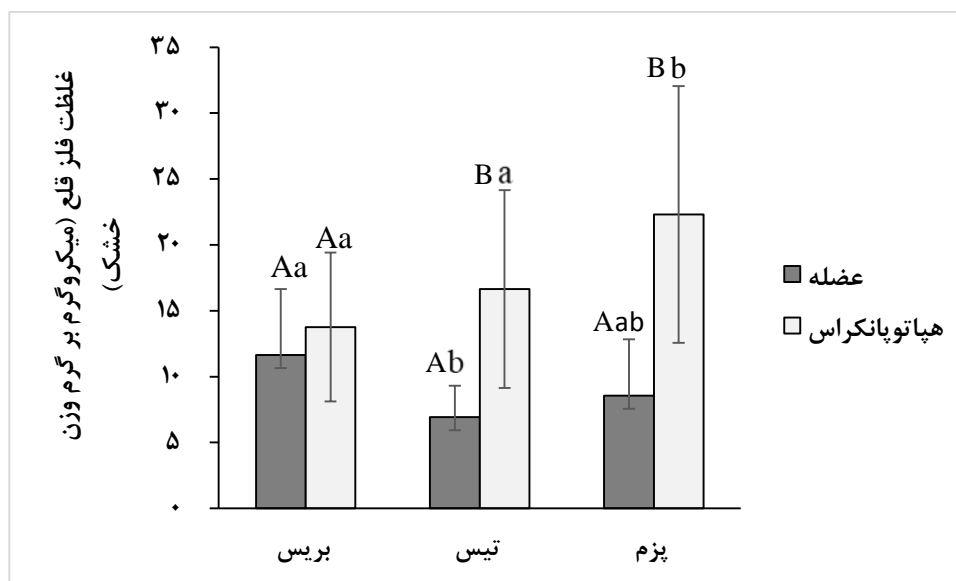
بررسی فلز قلع در بافت‌های عضله و هپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های مورد مطالعه: نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که در هر سه ایستگاه غلظت فلز قلع در بافت هپاتوپانکراس نسبت به عضله بیشتر است. در بافت عضله غلظت فلز قلع در ایستگاه بریس دارای بیشترین ($11/64 \pm 5$) و در ایستگاه تیس دارای کمترین میزان ($6/92 \pm 2/38$) بود. در بافت هپاتوپانکراس بیشترین میزان فلز قلع در ایستگاه پزم ($22/32 \pm 9/74$) و کمترین مقدار در ایستگاه بریس ($13/76 \pm 5/6$) مشاهده شد (شکل ۲). در بافت عضله ایستگاه تیس با بریس دارای اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0.05$). برای بافت هپاتوپانکراس پزم با دو ایستگاه بریس و تیس دارای اختلاف آماری معنی‌دار بوده است ($P < 0.05$). آزمون تی مستقل اختلاف معنی‌داری را بین دو بافت در پزم و تیس نشان داد (شکل ۲).

بررسی فلز کادمیوم در بافت‌های عضله و هپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های مورد مطالعه: نتایج نشان داد که در هر سه ایستگاه غلظت فلز کادمیوم در بافت هپاتوپانکراس بیشتر از بافت عضله است. در بافت عضله بیشترین غلظت فلز کادمیوم در ایستگاه بریس (0.06) و کمترین میزان برای ایستگاه تیس (0.076 ± 0.014) بود. در بافت هپاتوپانکراس بیشترین میزان فلز کادمیوم در ایستگاه بریس (0.084 ± 0.009) و کمترین میزان در ایستگاه تیس (0.076 ± 0.009) مشاهده شد (شکل ۳). بررسی آزمون آنوا نشان داد که در بافت عضله فلز کادمیوم بین ایستگاه‌های تیس و بریس با پزم اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$). برای بافت هپاتوپانکراس نتایج آزمون آماری عدم اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P > 0.05$). آزمون تی مستقل اختلاف معنی‌داری را بین دو بافت در ایستگاه‌ها نشان نداد (شکل ۳).

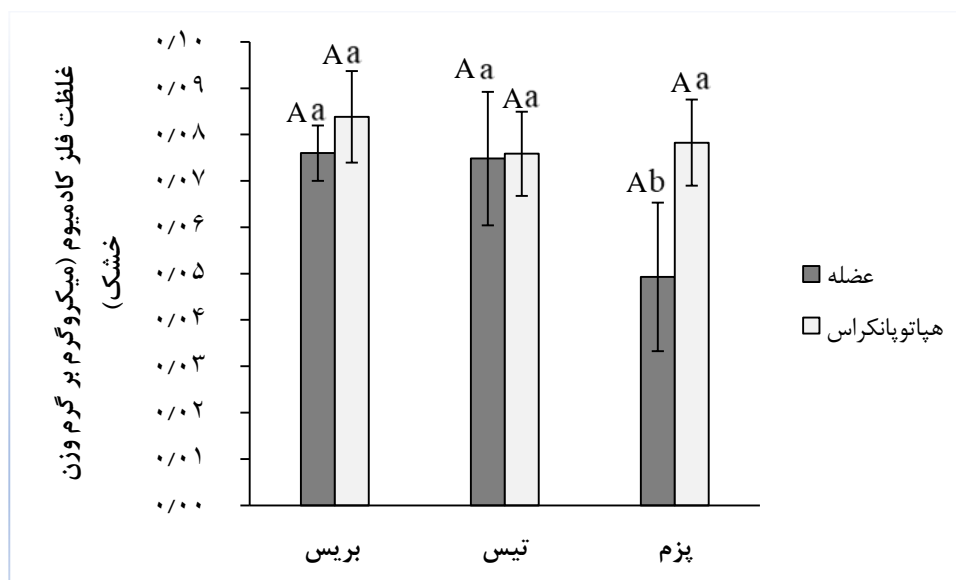
به آنها به نسبت ۱ به ۴ اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسیدکلریدریک ۳۵ درصد اضافه شد و حدود ۵ ساعت جهت هضم بر روی هیتر با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۷۰ درصد به نمونه‌ها اضافه و از روی هیتر برداشته شد و توسط آب مقطر حجم آن را به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی استفاده شد و غلظت فلزات سنگین برحسب میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه شدند (لقمانی و همکاران، ۱۳۹۹). در این بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای بررسی اختلاف آماری معنی‌دار تجمع فلزات سنگین بین دو بافت از آزمون t-test و جهت بررسی اختلاف آماری هر کدام از فلزات سنگین بین سه ایستگاه از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و پس از آزمون توکی (Tukey HSD) استفاده شد. جهت بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در بافت و رسوب از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین، در رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ (Excel) استفاده شد.

نتایج

نتایج زیست‌سنجی خرچنگ شناگر آبی (*P. segnis*): طبق نتایج جدول ۱، بیشترین وزن مربوط به خرچنگ‌های ایستگاه پزم ($334/16 \pm 124/6$) و کمترین وزن مربوط به ایستگاه بریس ($291/9 \pm 53/2$) بود. بیشترین میانگین طول کاراپاس برای ایستگاه پزم ($75/7 \pm 11/6$) و کمترین طول برای ایستگاه بریس ($71/2 \pm 3/8$) ثبت شد. بیشترین عرض کاراپاس خرچنگ در ایستگاه بریس ($134/5 \pm 7/6$) و کمترین در ایستگاه تیس ($128 \pm 7/4$) بود. بین ایستگاه‌ها، آزمون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بود ($P > 0.05$). آزمون آنوا نشان داد که عرض و وزن خرچنگ دارای اختلاف



شکل ۲- میزان غلظت فلز قلع (میانگین \pm انحراف معیار) در بافت‌های خرچنگ شناگر آبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه حروف همسان کوچک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین ایستگاه‌ها و حروف همسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین دو بافت در هر ایستگاه است. میله خط نشان‌دهنده انحراف معیار است.

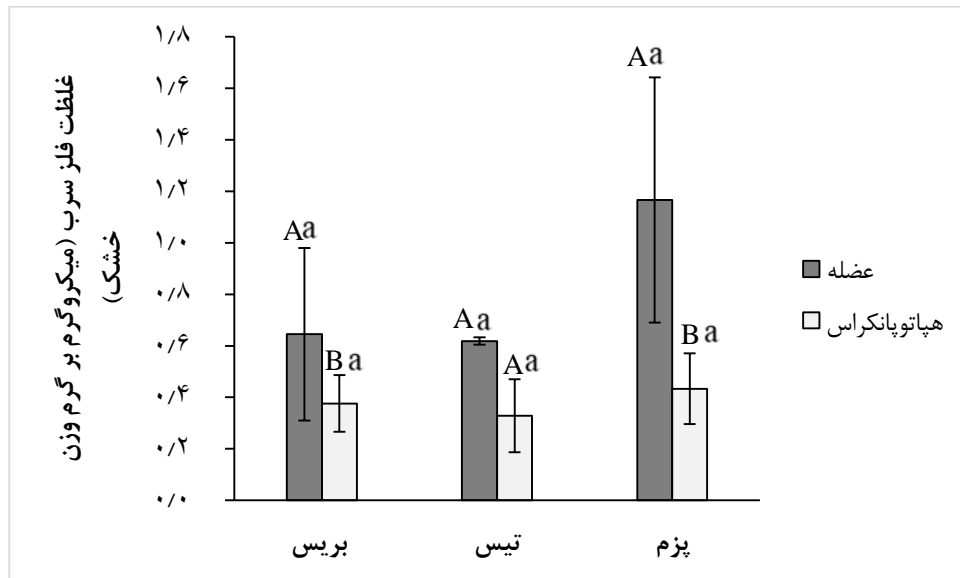


شکل ۳- غلظت فلز کادمیوم (میانگین \pm انحراف معیار) در بافت‌های خرچنگ شناگر آبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه حروف همسان کوچک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین ایستگاه‌ها و حروف همسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین دو بافت در هر ایستگاه است. میله خط نشان‌دهنده انحراف معیار است.

(شکل ۴). طبق نتایج، در بافت عضله و هیپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌دار وجود ندارد ($P > 0.05$) (شکل ۴). آزمون تی مستقل اختلاف معنی‌داری را بین دو بافت در ایستگاه‌های بریس و پزم نشان داد (شکل ۴).

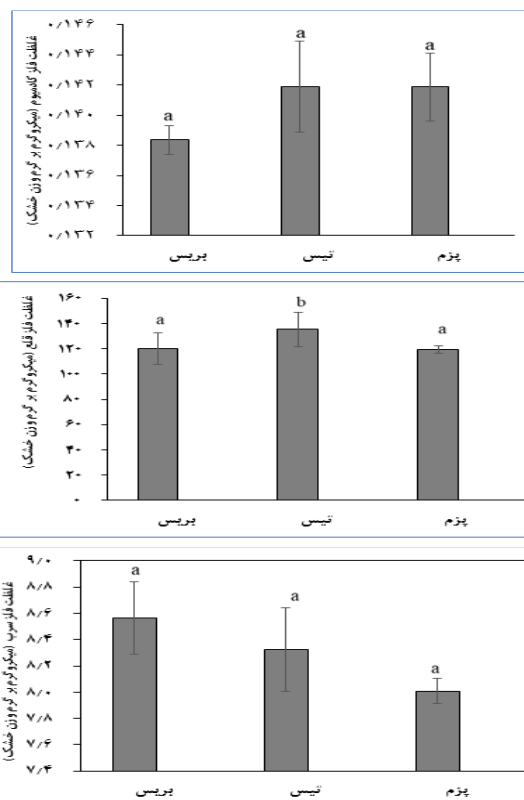
بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوبات: نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فلز قلع موجود در رسوب در ایستگاه تیس ($0.09 \pm 0.0135/5$) و کمترین میزان آن در ایستگاه پزم

بررسی فلز سرب در بافت‌های عضله و هیپاتوپانکراس
بین ایستگاه‌های مورد مطالعه: نتایج نشان داد که در هر سه ایستگاه غلظت فلز سرب در بافت عضله بیشتر از بافت هیپاتوپانکراس است. بیشترین غلظت فلز سرب در بافت عضله در ایستگاه پزم (0.47 ± 0.117) و کمترین میزان در ایستگاه تیس (0.14 ± 0.062) بود. در بافت هیپاتوپانکراس بیشترین میزان فلز سرب در ایستگاه تیس (0.14 ± 0.043) و کمترین میزان در ایستگاه پزم (0.13 ± 0.033) مشاهده شد



شکل ۴- غلظت فلز سرب (میانگین \pm انحراف معیار) در بافت‌های خرچنگ شناگر آبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

* حروف همسان کوچک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین ایستگاه‌ها و حروف همسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین دو بافت در هر ایستگاه است. میله خط نشان‌دهنده انحراف معیار است.



شکل ۵- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (\pm انحراف معیار) سرب، قلع و کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه سواحل

شمالی دریای مکران. حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار و حروف همسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌دار بین ایستگاه‌ها بوده است ($P > 0.05$). غلظت فلز سرب در ایستگاه بیره (۲۷ \pm ۰.۰۷ / ۸ / ۰.۰۹) دارای بیشترین و بزم (۵۶ \pm ۰.۰۷ / ۸ / ۰.۰۹) کمترین میزان بود (شکل ۵). بررسی آزمون نشان‌دهنده عدم اختلاف آماری معنی‌داری بین ایستگاه‌ها بوده است

(۳۱ / ۱۱۹ / ۲ \pm ۰ / ۳۱) بوده است. بررسی آزمون نشان داد که بین ایستگاه تیس با دو ایستگاه بیره و بزم اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0.05$). غلظت فلز کادمیوم در سه ایستگاه تفاوتی نداشت و با تفاوت بسیار ناچیز، میزان کادمیوم در ایستگاه بزم و تیس بیشتر از بیره بود (شکل ۵). بررسی آزمون

جدول ۲- همبستگی میان غلظت فلزات سنگین بافت عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ شناگر آبی و رسوب
**همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱

	ضریب همبستگی	قلع (M)	کادمیوم (M)	سرب (M)	قلع (H)	کادمیوم (H)	سرب (H)	قلع (S)	کادمیوم (S)
ضریب همبستگی معنی‌داری		-							
کادمیوم (M)	ضریب همبستگی معنی‌داری	۰/۳۸	۰/۱۳						
سرب (M)	ضریب همبستگی معنی‌داری	-۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۲۶					
قلع (H)	ضریب همبستگی معنی‌داری	۰/۲۸	۰/۳۰	-۰/۰۳	۰/۹۲				
کادمیوم (H)	ضریب همبستگی معنی‌داری	۰/۰۲	-۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۹۲	۰/۰۰	۰/۹۳		
سرب (H)	ضریب همبستگی معنی‌داری	۰/۰۵۸	-۰/۲۵	۰/۳۱	-۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۸۸		
قلع (S)	ضریب همبستگی معنی‌داری	-۰/۲۹	۰/۱۸	-۰/۰۰	-۰/۵۴	-۰/۵۸	۰/۰۶	۰/۸۳	
کادمیوم (S)	ضریب همبستگی معنی‌داری	-۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۹	۰/۷۳*	-۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۴۴
سرب (S)	ضریب همبستگی معنی‌داری	۰/۳۴	-۰/۵۵	-۰/۸۱**	-۰/۱۵	-۰/۲۶	-۰/۵۳	۰/۳۶	-۰/۱۵
		۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۶۶

M=Muscle, H= Hepatopancreatic, S= Sediment

($P > 0.05$)

بررسی همبستگی بین فلزات در بافت‌ها و رسوب:
همبستگی داده‌ها با استفاده از آزمون پیرسون صورت گرفت و در بررسی حاضر بین سرب در رسوب و سرب در بافت عضله همبستگی منفی قوی در سطح ۰/۰۱ (بیشتر از ۰/۷) وجود داشت و در سایر پارامترها همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

آبزیان مانند ماهی‌ها، نرم‌تنان و سخت‌پوستان امروزه نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان دارند و مطالعات گسترده بیان‌کننده این مطلب است که آبزیان آلاینده‌های مختلف به‌خصوص فلزات سنگین را از طریق آبشش، سطح بدن و

توسط رژیم غذایی در بدن خود جمع می‌کنند. بنابراین، بررسی آنها از نظر ارزیابی میزان تجمع آلاینده‌ها به‌صورت دوره‌ای به‌علت نقش مهمی که در زنجیره غذایی و سلامت انسان دارند، بسیار مهم است. به‌همین دلیل، تحقیقات زیادی در مورد جذب فلزات سنگین در موجودات آبی که نشان‌دهنده روند افزایش این فلزات در بوم‌سامانه‌های آبی به‌دلیل فعالیت‌های انسانی هستند، انجام شده است. در مطالعات زیستی باید از موجودات آبی مختلف برای تصویری کامل‌تر از آلودگی محیط‌زیست استفاده کرد (Kuklina et al., 2014). سخت‌پوستان به‌عنوان نشانگر زیستی مناسب در تحقیقات زیادی تا به امروز برای سیستم‌های دریایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دلیل این امر این است که آنها یک گروه بسیار گسترده از موجودات زنده

(۱۳۹۲) بر روی خرچنگ شناگر آبی در هرمزگان نشان داد که غلظت فلز سرب و کادمیوم با مطالعه حاضر همخوانی نداشت و بسیار بالاتر بودند. همچنین، مطالعات صورت گرفته توسط اوکاتی و همکاران (۱۳۹۷) و تحقیق بر روی خرچنگ شناگر آبی در بوشهر و بندرعباس، الگوی تجمع فلزات سرب و کادمیوم با مطالعه حاضر همخوانی داشت. غلظت فلز کادمیوم در بافت عضله خرچنگ *Portunus trituberculatus* در مطالعه Karar و همکاران (۲۰۲۰) از بندر Zhejiang با مطالعه حاضر همخوانی داشت. اما غلظت فلز سرب نسبتاً پایین تر از مطالعه حاضر بود. مقایسه مطالعه Abdolhay و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین خرچنگ *Portunus pelagicus* در سواحل بوشهر نشان داد که غلظت فلز سرب در بافت هپاتوپانکراس بالاتر و در بافت عضله با مطالعه حاضر همخوانی داشت و همچنین، غلظت فلزات سنگین در بافت هپاتوپانکراس بیشتر از بافت عضله بود. نتایج مطالعه Karar و همکاران (۲۰۱۹) بر روی خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در شمال خلیج بنگال نشان داد که غلظت فلزات سرب و کادمیوم در هر دو بافت هپاتوپانکراس و عضله بالاتر از مطالعه حاضر بود. همچنین میزان دو فلز مطالعه آنها در بافت هپاتوپانکراس بیشتر از عضله بود. غلظت فلزات در بافت های مختلف موجودات آبی با طیف وسیعی از عوامل محیطی و زیستی تغییرات فصلی همراه است. تجمع زیستی فلزات سنگین در مطالعه Barath Kumar و همکاران (۲۰۱۹) در دو گونه خرچنگ *Portunus pelagicus* و *P. sanguinolentus* سواحل جنوب شرقی هند در بافت هپاتوپانکراس بیشتر از بافت عضله بود. آنها بیان کردند که اگرچه عضله بخش عمده ای از خون را دریافت می کنند، اما تجمع در این اندام نسبتاً کم است. مطالعه Siddiqui و Saher (۲۰۱۶) که بر روی تجمع زیستی فلزات سنگین در خرچنگ آبی (*Opusia indica*) سواحل پاکستان بود، غلظت فلز سرب و کادمیوم در بافت نرم فاقد همخوانی و بسیار بالاتر از مطالعه حاضر بود و غلظت فلزات در مطالعه آنها نشان دهنده وجود آلودگی نگران کننده برای این دو فلز بود که علت آن را وجود فشار آلودگی رواناب کشاورزی و پسماندهای تصفیه نشده شهری و تردد شدید قایق های توریستی بیان کردند. مقایسه مطالعه Siddiqui و Saher (۲۰۱۷) که بر روی تجمع زیستی فلزات سنگین خرچنگ

هستند که در تعدادی از زیستگاه های مختلف توزیع شده اند و گزینه بسیار مناسبی برای تحقیقات آلودگی محیط زیست می باشند (Bat and Arici, 2018).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میانگین فلزات سنگین در بافت و ایستگاه های مختلف خرچنگ شناگر آبی با یکدیگر تفاوت معنی دار داشته است. به گونه ای که غلظت فلز قلع و کادمیوم در هپاتوپانکراس بیشتر از عضله در تمامی ایستگاه های مورد بررسی بود. اما فلز سرب با وجود تفاوت بسیار ناچیز در عضله بیشتر از هپاتوپانکراس بود. الگوی تجمع فلزات سنگین نشان داد که در خرچنگ شناگر آبی در هر سه منطقه مورد مطالعه به صورت قلع < سرب < کادمیوم بود. تجمع فلزات سنگین بین ایستگاه ها برای سرب و کادمیوم دارای نوسان بسیار کمی بود. همان طور که مشخص شد بیشترین غلظت برای فلز قلع ثبت شد که در بافت هپاتوپانکراس بیشتر از عضله به دست آمد. بنابراین، مشخص شد که بافت هپاتوپانکراس همانند بافت سم زدای کبد، غلظت فلزات را بیشتر از بافت عضله تجمع می دهد. طبق نتایج Astani و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که علت تجمع پایین فلزات سنگین در بافت عضله به دلیل پایین بودن فعالیت متابولیکی و وجود پروتئین متالوتیونین در این بافت که مسئول حذف و خنثی سازی فلزات سنگین و آثار سمی آنها هستند، می باشد. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات هر ایستگاه نشان داد که فلز قلع در ایستگاه تیس بیشترین میزان را دارد و با دو ایستگاه بریس و پزم دارای اختلاف آماری معنی دار است. اما فلز کادمیوم و سرب در رسوبات هر سه ایستگاه با یکدیگر فاقد تفاوت معنی دار بودند. همچنین، بررسی غلظت فلزات در بافت ها نشان دهنده عدم معنی داری فلزات کادمیوم و سرب در هر دو بافت بین سه ایستگاه بود. اما قلع در عضله ایستگاه بریس و در هپاتوپانکراس ایستگاه پزم بیشترین میزان را داشت. در تحقیق لقمانی و همکاران (۱۳۹۹) که ارزیابی فلزات سنگین در خرچنگ شیخ (*Ocypode saratan*) دریای عمان بود، غلظت فلز کادمیوم با مطالعه حاضر همخوانی داشت. نتایج مطالعه دادور و همکاران (۱۳۹۲) بر روی تجمع فلزات سنگین در خرچنگ شیخ سواحل خلیج چابهار، نشان داد که غلظت فلز کادمیوم و سرب در بافت عضله با مطالعه حاضر همخوانی دارد و کمتر از استانداردهای بین المللی گزارش شدند. مطالعه صورت گرفته توسط دریالعل و همکاران

از نظر زیستی تنظیم نمی‌شود. آنها بر محیط زیست تأثیر می‌گذارند و حضور آنها پیامدهای بلندمدت بالقوه خطرناکی برای سخت‌پوستان دارد (Salvat et al., 2020). زمین‌های دفن لجن و فاضلاب‌ها دارای غلظت‌های بالای سرب هستند. همچنین، غلظت سرب در ماکروبتوزها شدیداً وابسته به غلظت آن در رسوب می‌باشند. غلظت بالای سرب در خرچنگ‌ها تأثیر منفی بر پوسته آنها داشته و سبب شکنندگی پوسته می‌شود (اجاللی و همکاران، ۱۳۹۴). کادمیوم به یکی از کانون‌های سم‌شناسی آب تبدیل شده است. کادمیوم به دلیل استفاده گسترده در کشاورزی و صنعت، یکی از گسترده‌ترین فلزات سمی آب است و از مهم‌ترین آلاینده‌ها در مناطق رودخانه‌ای با سمیت و ماندگاری بالایی است. منشأ بیشتر این فلز در اکوسیستم‌های آبی توسط فعالیت‌های انسانی است که میزان زیادی از آلاینده‌های منشأ این فلز امروزه به اکوسیستم‌های حرا تخلیه می‌شود. هیچ سخت‌پوستی غلظت فلز کادمیوم را در بدن تنظیم نمی‌کند. کادمیوم تجمع یافته معمولاً از طریق پروتئین‌های متالوتیونین در موجودات سم‌زدایی می‌شود. همچنین، Cogun و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند از آنجا که کادمیوم جزء فلزات غیر ضروری است، بنابراین هیچ نقشی متابولیکی و عملکردی برای متابولیسم در سخت‌پوستان ندارند و محتوای بافتی این فلزات تنظیم نشده است. همان‌طور که بیان شد فلزات غیر ضروری هیچ‌گونه عملکرد متابولیکی برای پوسته در سخت‌پوستان ندارند و میزان آنها توسط جانور تنظیم نمی‌شود. بنابراین، در سخت‌پوستان می‌تواند به‌عنوان یک شاخص جهت تعیین غلظت سطح محیطی این فلزات باشد. بنابراین، در مطالعه حاضر مقادیر کادمیوم و سرب در خرچنگ شناگر آبی منعکس‌کننده سطح محیطی این فلز است. تحقیق انجام شده بر روی تجمع زیستی فلزات سنگین خرچنگ شناگر آبی توسط مرادی و سلگی (۱۳۹۷) بیان کردند که محل زندگی و رشد خرچنگ نیز یکی از موارد مهم در میزان تجمع فلزات سنگین در آنها است. همچنین، بیان کردند که علاوه بر فعالیت‌های صنعتی، وضعیت و ماهیت رژیم غذایی آنها می‌باشد. خرچنگ شناگر آبی معمولاً از نرم‌تنان کوچک و به‌خصوص گیاهان دریایی تغذیه می‌کند. تغییرات محیطی در فصول از جمله تغییر در شوری و دما نیز بر دسترسی زیستی فلزات در ارگان‌های آنها در خرچنگ شناگر آبی تأثیرگذار

Austruca sindensis سواحل کراچی بود، از نظر تجمع زیستی فلزات سرب و کادمیوم در بافت نرم خرچنگ با مطالعه حاضر همخوانی نداشت و تجمع این دو فلز در مطالعه آنها بالاتر از مطالعه حاضر بود. آنها بیان داشتند که تجمع فلز سرب در خرچنگ مورد نظر در سطح خطرناکی برای مصرف قرار دارد و علت بیشتر آلودگی فلزی در این منطقه را فاضلاب‌های صنایع و فاضلاب خانگی دانستند. غلظت فلزات سنگین در سخت‌پوستان به‌طور گسترده‌ای بین فلزات و بین گونه‌ها متفاوت است (Rainbow, 2007). بی‌مهرگان آبی فلزات سنگین را از طریق سطوح نفوذپذیر بدن و از روده وارد بدن می‌کنند. اخیراً گزارش شده که جذب فلزات سنگین از رژیم غذایی ممکن است منبع اصلی آنها برای بسیاری از بی‌مهرگان آبی باشد. در سخت‌پوستان هنگامی که فلز برای اولین وارد بدن می‌شود، در ابتدا از نظر متابولیک در دسترس خواهد بود یعنی این پتانسیل را دارد که به مولکول‌های سلول دریافت کننده یا جاهای دیگر متصل شود (Rainbow, 2007).

سطوح غلظت فلزات سنگین در عضله و هیپاتوپانکراس ممکن است با قرار گرفتن مستقیم آبشش‌ها در محیط مرتبط باشد و فرآیندهای تنظیم یونی را ایجاد کند. این به دلیل فعالیت انقباض شدید عضلات وابسته به عملکرد یون‌های Ca^{2+} است که ممکن است با فلزات سنگین جایگزین شده باشد، در نتیجه رقابت برای لیگاندهای پروتئینی، ناشی از تجمع در هیپاتوپانکراس، به دلیل تشکیل مواد آلی-معدنی اسکلت بیرونی در هنگام تبادل این ساختار باشد (Ramos et al., 2021).

WHO، UNEP و FAO گزارش دادند که منابع اصلی قلع در محیط‌های دریایی، پساب‌های صنعتی حاصل از مواد رنگ، کاتالیزور، لوازم آرایشی، شیشه، باتری و سایر لوازم برقی، آلیاژها و لجیم‌ها، کودها کارخانه‌های تولید پلاستیک و سوخت، پساب‌های کشاورزی و کود، پساب‌های خانگی و پساب‌های معدنی هستند (Hamed et al., 2013). همچنین، مناطق اطراف دریاها هستند که در آن از رنگ‌های ضد رسوب استفاده می‌شود دارای سطح بالایی از قلع هستند (Hamed et al., 2013). اطلاعات بسیار محدودی در مورد اثرات سم‌شناسی قلع معدنی موجود در آبزیان و سخت‌پوستان موجود است. فلز سرب و کادمیوم هیچ نقشی در متابولیسم سخت‌پوستان ندارند و محتوای آنها در بافت

جدول ۳- مقایسه میزان فلزات سنگین در خرچنگ شناگر آبی مطالعه حاضر با استانداردهای جهانی ($\mu\text{g/g dw}$)

	قلع	سرب	کادمیوم	
FAO ¹	--	۱	۰/۵۷	Shulkin and Persley (2003)
WHO ²	---	۰/۵	۰/۲	Pourang <i>et al.</i> (2005)
FDA ³	---	۱/۷	۱	Foreman (1989)
NSHF ⁴	۲۲۰	۶	۲	Choi (2011)
بافت عضله	۸/۶	۰/۰۷۴	۰/۶	مطالعه حاضر

1. Food and Agriculture Organization; 2. World Health Organization; 3. Food and Drug Administration; 4. National Standards for Heavy Metals in Food

و ۵ مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوب مطالعه حاضر با سایر مطالعات در مناطق مختلف نشان داده شده است. طبق مقایسه غلظت فلزات در رسوبات مطالعه حاضر با مطالعات دیگر، مشخص شد که در برخی مطالعات میزان فلزات بالاتر از مطالعه حاضر و در برخی دیگر پایین‌تر بود و این مسئله به علت تفاوت در مناطق مورد مطالعه، وجود منابع آلاینده متفاوت در آن نقاط و همچنین، متفاوت بودن جنس رسوبات است. علت بیشتر آلودگی فلزات سنگین خطرناک در مناطق مورد مطالعه طبق پژوهش‌های صورت گرفته در این منطقه بیشتر به دلیل تعمیرات و تعویض روغن قایق‌ها و لنج‌های ماهیگیری به خصوص رنگ‌آمیزی و سوخت‌رسانی آنها است. از مهم‌ترین آلودگی‌ها استفاده از رنگ‌ها در بدنه این قایق‌ها، لنج و کشتی‌ها جهت جلوگیری از چسبیدن موجودات مزاحم از قبیل بارناکل‌ها هستند (Hamzeh *et al.*, 2013). قلع به طور طبیعی در پوسته زمین با غلظت تقریباً ۳ ppm وجود دارد. ترکیبات قلع در محیط‌های مختلف به دو صورت معدنی و آلی یافت می‌شوند. ممکن است از منابع طبیعی و انسان‌زا به محیط‌زیست منتقل شود و جزء بسیاری از خاک‌ها است و ترکیبات قلع معدنی ممکن است در گرد و غبار ناشی از طوفان، جاده‌ها و فعالیت‌های کشاورزی آزاد شوند. برخلاف ارگانوتین، قلع معدنی مطالعه کافی را دریافت نکرده است (Hamed *et al.*, 2013). با توجه به وضعیت سایت‌های نمونه‌برداری، مقادیر بالای قلع در مکان‌هایی که از منابع مختلف آلودگی رنج می‌برند، مانند پساب‌های صنعتی، زهکشی فاضلاب، فعالیت‌های گردشگری، بنادر و مناطق پرجمعیت تجمع می‌یابد. مناطق اطراف دریاها هستند که در آن از رنگ‌های ضد رسوب استفاده می‌شود، دارای سطح بالایی از قلع هستند (Hamed *et al.*, 2013). طبق بررسی نتایج این مطالعه با استانداردهای کیفیت رسوب مشخص شد که فلز کادمیوم و سرب نسبت به استانداردهای

است. چرخه تولیدمثل نیز می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در نوسانات فلزات سنگین موجودات باشد (Moradi and Selgi, 2017). بنابراین، آلودگی رسوبات ساحلی و بستر دریا از مهم‌ترین عوامل تهدید در سلامت و رشد سخت‌پوستان هستند. علت تفاوت فلزات سنگین طی مطالعات مختلف به دلایلی مانند رژیم غذایی، طول و وزن بدن، سن، محل زیست موجودات نسبت داده شده است. در مطالعه صورت گرفته توسط لقمانی (۱۳۹۵) در رابطه با غلظت فلزات در سواحل دریای مکران بیان داشتند که تغییرات آب و هوایی تحت تأثیر فصول موسمی دریای عمان، یکی از عوامل اصلی نوسانات در غلظت فلزات سنگین این دریا هستند. مقایسه غلظت فلزات در بافت عضله خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه با استانداردهای بین‌المللی در جدول ۳ نشان داده شده است که غلظت هر سه فلز مورد مطالعه نسبت به تمامی استانداردها پایین‌تر بودند. بنابراین خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه خطر برای مصرف‌کنندگان ندارد.

مطالعات زیادی بر روی فلزات سنگین در رسوبات خلیج چابهار انجام شده است. از عوامل مهم آلودگی رسوبات می‌توان به صنایع کشتی‌سازی، پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری و سموم کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها اشاره کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳). تجمع فلزات در رسوبات نیز باعث انتقال آنها به موجودات کفزی شده و از طریق این موجودات به سطوح تغذیه بالاتر منتقل می‌شوند (صفائی و همکاران، ۱۳۹۱). در منطقه مورد مطالعه علت بالا بودن آلودگی رسوبات معمولاً بیشتر به دلیل صنایع کشتی‌سازی و فاضلاب‌های شهری و کشاورزی است. به دلیل بالا بودن مقادیر فلزات در رسوبات تحت بررسی، نتایج مطالعه حاضر با مطالعات دیگر در داخل و خارج کشور و استانداردهای کیفیت رسوب مقایسه شد. در جدول‌های ۴

جدول ۴- مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات مطالعه حاضر با سایر مطالعات دیگر (µg/g dw)

منبع	کادمیوم	سرب	قلع	منطقه
مهدی آبکنار و همکاران (۱۳۹۷)	۰/۵۲	۱/۳۱	---	دریای عمان
میرزا و معین‌الدین (۱۳۹۶)	۵/۲۷	۸/۹۶	---	سواحل چابهار
Sadeghi <i>et al.</i> (2021)	۳۱	۳۸/۳	---	دریای عمان
Saadati <i>et al.</i> (2020)	۳/۳۶	---	---	خلیج ابوموسی
Hosseini <i>et al.</i> (2014)	۳۴	۲/۳	---	خلیج فارس
Xu <i>et al.</i> (2016)	۰/۴۲	۵۵/۲	---	خلیج Jiaozhou
Liang <i>et al.</i> (2018)	۰/۳۳	۲۵/۵	۳/۵۵	خلیج Jiaozhou
El-Sayed <i>et al.</i> (2015)	۱/۴	۱۴/۲۱	۶/۷۷	مصر
Sultan <i>et al.</i> (2011)	۰/۴۴	۶۲/۰۲	۴۹	Malay, Terengganu
مطالعه حاضر	۰/۱۴	۸/۳	۱۲۵	سواحل دریای مکران

1. National Oceanic and Atmospheric Administration; 2. United State Environmental Protection Agency; 3. Highest Alert Level; 4. Lowest Alert Level; 5. Canadian Interim Marine Sediment Quality; 6. Probable Effects Level

جدول ۵- مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات مطالعه حاضر با استانداردهای کیفیت رسوب بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

منبع	کادمیوم	قلع	سرب	منطقه
کیفیت رسوب آمریکا NOAA (Long <i>et al.</i> , 1995)	۹/۶	---	۲۱۸	ERM
کیفیت رسوب آمریکا NOAA ¹ (Long <i>et al.</i> , 1995)	۱/۲	---	۴۶/۷	ERL
USEPA ² (1999) Bowen (1979)	۹/۶	---	۲۱۸	HAL ³
USEPA ¹ (1999) Bowen (1979)	۰/۰۴	---	۲	LAL ⁴
استاندارد محیط زیست کانادا (CCME, 1999)	۰/۷	---	۳۰/۲	ISQs ⁵
استاندارد محیط زیست کانادا (CCME, 1999)	۴/۲	---	۱۱۲	PEL ⁶
مطالعه حاضر	۰/۱۴	۱۲۵	۸/۳	سواحل دریای عمان

1. National Oceanic and Atmospheric Administration; 2. United State Environmental Protection Agency; 3. Highest Alert Level; 4. Lowest Alert Level; 5. Canadian Interim Marine Sediment Quality; 6. Probable Effects Level

گسترده علت بالا بودن غلظت فلز سرب بیشتر به دلیل فعالیت‌های رنگ‌کاری شناورها و ریخته شدن آن‌ها به محیط است. تجمع فلزات سنگین بین ایستگاه‌ها برای سرب و کادمیوم دارای نوسان بسیار کمی بود. همان‌طور که مشخص شد بیشترین غلظت برای فلز قلع ثبت شد که در بافت هیپاتوپانکراس بیشتر از عضله به دست آمد. مقایسه غلظت فلزات در بافت عضله خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه با استانداردهای بین‌المللی نشان داد که غلظت هر سه فلز مورد مطالعه نسبت به تمامی استانداردها پایین‌تر بودند. بنابراین خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه خطر برای مصرف‌کنندگان ندارد. طبق بررسی نتایج این مطالعه با استانداردهای کیفیت رسوب مشخص شد که فلز کادمیوم و سرب نسبت به استانداردهای کیفیت رسوب کمتر بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات آن منطقه نیستند.

کیفیت رسوب کمتر بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات آن منطقه نیستند. همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که برای قلع در فلزات استاندارد وجود ندارد (NorooziKarbasdehi *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی نشان داد که غلظت فلزات سنگین در بافت و ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. به گونه‌ای که غلظت فلز قلع در هیپاتوپانکراس بیشتر از عضله در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بود. غلظت فلز کادمیوم و سرب بین ایستگاه‌ها فاقد معنی‌داری بودند. فلز سرب با وجود تفاوت بسیار ناچیز در عضله بیشتر از هیپاتوپانکراس بود. الگوی تجمع فلزات سنگین نشان داد که در خرچنگ شناگر آبی در هر سه منطقه مورد مطالعه به صورت قلع <سرب> کادمیوم بود. به نظر می‌رسد طبق مطالعات

منابع

- اجالالی ا.، موسوی ندوشن ر.، ماشینیان ع.، فاطمی س.م.، مرتضوی م.ص. ۱۳۹۴. مقایسه مکانی غلظت سرب در رسوبات و سه گروه از ماکروبتوزها (خرچنگ ها، شکم پایان و دوکفه‌ای‌ها) در سواحل بندرعباس. *بوم‌شناسی آبزیان*. ۵(۱): ۶۹-۷۶.
- اکاتی ن.، امینی م.، اعتمادی ا. ۱۳۹۷. تجمع زیستی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب و نیکل) در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*). *محیط‌زیست جانوری*. ۱۱(۴): ۳۰۵-۳۱۲.
- حسینی غ.، تیموری ص.، شیعی ع.، ملکی ع. ۱۳۹۳. ارزیابی خطر سلامت ناشی از فلزات سنگین در ذرات معلق در هوای دانشگاه علوم پزشکی کردستان. *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران (دانشگاه نامه)*. ۲۵(۱۳۲): ۱۳۶-۱۴۶.
- دادور ا.، شاپوری م.، سینایی م. ۱۳۹۲. بررسی آلودگی فلزات سنگین در بافت های ماهیچه و آبشش خرچنگ روح *Ocypode saratan* در سواحل جزرودی خلیج چابهار. *مجله علمی و پژوهشی زیست شناسی دریا* ۵(۱۹): ۴۵-۵۵.
- دریالعل خ.، داداللهی س.، ذوالقرنین ح.، صفاهیه ع.ر. ۱۳۹۲. بررسی تجمع فلزات سنگین سرب و کروم در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) در سواحل استان هرمزگان (شهر بندرعباس)، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، صفحات ۷-۱.
- لقمانی، م. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات تراکم پرتاران زیرجزرودی خلیج چابهار با تاکید بر نقش فلزات سنگین (مس و روی). *بوم‌شناسی آبزیان*. ۳(۶): ۱۰-۱۲.
- لقمانی م.، سلطانی ز.، مشهدی ص. ۱۳۹۹. ارزیابی تغییرات غلظت فلزات سنگین در رسوبات، بافت عضلانی و پوسته خرچنگ شبح (*Ocypode saratan*) در تابستان پیش از مونسون و پس از مونسون. *محیط‌زیست جانوری*. ۱۲(۴): ۵۰۹-۵۲۰.
- لیمویی ف.، محبت کار ح. ۱۳۹۲. بررسی آلودگی خلیج فارس و دریای عمان و راه های مبارزه با آن، سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران. ۸ ص.
- مرادی ز.، سلگی ع. ۱۳۹۷. مقایسه تجمع فلزات سنگین (آهن، روی، مس، منگنز و نیکل) در بافت نرم و سخت خرچنگ شناگر آبی (*Portunus pelagicus*) سواحل شهرستان بوشهر. *زیست‌شناسی جانوری تجربی*. ۷(۳): ۱۵۰-۱۴۱.
- مهدی آبکنار ع.، یحوی م.، بحری ا.، بیواره م. ۱۳۹۷. غلظت فلزات سنگین سرب، مس، کادمیوم و جیوه در بافت خوراکی اویستر صخره ای (*Saccostrea cucullata*) و میگوی سفید هندی (*Penaeus indicus*) در مناطق نوزادگاهی سواحل شمالی دریای عمان، *محیط‌زیست جانوری*. ۱۱(۴): ۳۲۱-۳۳۰.
- میرزا ر.، معین‌الدینی م. ۱۳۹۶. آلودگی و ارزیابی اثرات بوم شناختی برخی فلزات در رسوبات سطحی خلیج چابهار، *مجله اقیانوس‌شناسی*. ۸(۱): ۹-۱.
- Abdolhay H.A., Kazemzadeh Khoei J., Raeisi Sarasiab A., Baniamam M., Hosseini M. 2020.** Bioaccumulation and distribution of heavy metals (Se, As and Pb) in muscle, gill and hepatopancreas of blue crab *Portunus pelagicus*, Bushehr Coast, Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(5), 2735-2742.
- Asaolu S.S., Adefemi O.S., Borode O. 2009.** Concentration of heavy metals in water and sediment samples from ERO River in Southwestern, Nigeria. *Current World Environment* 4(1), 33.
- Akbulut M., Selvi K., Kaya H., Duysak M., Akcay F., Celik E.S. 2014.** Use of oxidative stress biomarkers in three Crustacean species for the assessment of water pollution in Kocabaş Stream (Çanakkale, Turkey). *Marine Science and Technology Bulletin* 3(2), 27-32.
- Astani Z.F., Jelodar H.T., Hasan F. 2018.** Studying the accumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu and Cd) in the tissue (muscle, skin, gill and gonad) and its relation with fish (*Alosa braschinkowi*) length and weight in Caspian Sea coasts. *Journal of Aquatic Marine Biology* 7, 308-312.
- Arya S., Trivedi J.N., Vachhrajani, K.D. 2014.** Brachyuran crabs as a biomonitoring tool: a conceptual framework for chemical pollution assessment. *International Research Journal of Environment Sciences* 3(1), 49-57.
- Barath Kumar S., Padhi R.K., Satpathy K.K. 2019.** Trace metal distribution in crab organs and human health risk assessment on consumption of crabs collected from coastal water of South East coast of India. *Marine Pollution Bulltein* 141, 273-282.
- Bashir I., Lone F.A., Bhat R.A., Mir S.A., Dar Z.A., Dar S.A. 2020.** Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. In *Bioremediation and Biotechnology* Springer, Cham. pp. 1-

- 26.
- Bat L., Arici E., Öztekin A., Şahin F. 2020.** Toxic metals in the warty crab in the southern Black Sea: Assessment of human health risk. *Marine Biological Journal* 5(1), 3-11.
- Bat L., Arici E. 2018.** Heavy metal levels in fish, molluscs, and crustacea from Turkish seas and potential risk of human health. In *Food Quality: Balancing Health and Disease*. Academic Press. pp. 159-196.
- Bowen, H.J.M. 197..** Environmental chemistry of the element. Academic press. London. 217 p.
- Cheraghi M., Kargar A., Lorestani B., Tabiee O. 2014.** Determination of cadmium, nickel, lead and vanadium concentrations in white Indian prawn sold in Shiraz town. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences* 16(4), 54-61.
- Çoğun H.Y., Firat Ö., AYTEKIN T.Ü.Z.İ.N., Firidin G., Varkal H., Temiz Ö., Kargin F.E.R.İ.T. 2017.** Heavy metals in the blue crab (*Callinectes sapidus*) in Mersin Bay, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 98(6), 824-829.
- Choi Y.Y. 2011.** International/national standards for heavy metals in food. Government Laboratory (Australia). pp. 1-13.
- CCME (Canadian Council of Minister of the Environment). 1999.** Can. Environ. Quality. Guide 1. from publication No.1299.
- El-Sayed S.A., Moussa E.M.M., El-Sabagh M.E.I. 2015.** Evaluation of heavy metal content in Qaroun Lake, El-Fayoum, Egypt. Part I: bottom sediments. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 8(3), 276-285.
- FAO/WHO, 1993.** Food and Agriculture Organization, World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants (41st report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives). WHO Tech. Reports Series No. 837.
- Guérin T., Chekri R., Vastel C., Sirot V., Volatier J.L., Leblanc J.C., Noël L. 2011.** Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market. *Food Chemistry* 127(3), 934-942.
- Hamed M.A., Mohamedein L.I., El-Sawy M.A., El-Moselhy K.M. 2013.** Mercury and tin contents in water and sediments along the Mediterranean shoreline of Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 39(2), 75-81.
- Hamzeh M.A., Shahhosseini M., Naderi Beni A. 2013.** Effect of fishing vessels on trace metal contamination in sediments of three harbors along Iranian Oman Sea coast. *Environmental Monitoring and Assessment* 185, 1791-1807.
- Humtsoe N., Davoodi R., Kulkarni B.G., Chavan B. 2007 .** Effect of Arsenic on the enzymes of the Rohu carp *Labeo rohita* (Hamilton, 1822). *Raffles Bulletin of Zoology* 14, 17-19.
- Jesus W.B., de Oliveira Mota T.D.S., Soares S.H., Pinheiro-Sousa D.B., de Oliveira S.R.S., Torres H.S., Neta R.N.F.C. 2021.** Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. *Chemosphere* 271, 129444.
- Jesus W.B.D., Oliveira S.R.S.D., Andrade T.D.S.D.O.M., Sousa J.B.M., Pinheiro-Sousa D.B., Santos D.M.S., da Silva Cardoso, W., Carvalho-Neta R.N.F. 2020.** Biological responses in gills and hepatopancreas of *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda, Ocypodidae) as indicative of environmental contamination in mangrove areas in Maranhão State, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research* 48(2), 226-236.
- Karar, S., Hazra, S., Das, S. 2019.** Assessment of the heavy metal accumulation in the Blue Swimmer Crab (*Portunus pelagicus*), northern Bay of Bengal: Role of salinity. *Marine Pollution Bulletin* 143, 101-108.
- Kuklina I., Kouba A., Buřič M., Horká I., Ďuriš Z., Kozák P. 2014.** Accumulation of heavy metals in crayfish and fish from selected Czech reservoirs. *BioMed research international*.
- Liu X., Jiang H., Ye B., Qian H., Guo Z., Bai H., Feng, J., Ma, K. 2021.** Comparative transcriptome analysis of the gills and hepatopancreas from *Macrobrachium rosenbergii* exposed to the heavy metal Cadmium (Cd 2+). *Science Report*, 11, 16140.
- Liang J., Liu J., Xu G., Chen B. 2019.** Distribution and transport of heavy metals in surface sediments of the Zhejiang nearshore area, East China Sea: sedimentary environmental effects. *Marine Pollution Bulletin* 146, 542-551.

- Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Culder F.D. 1995.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19, 8197.
- Makare Shireh M., Chamani A., Mushtaghi M. 2016.** Investigating the effect of lead and cadmium pollution on the morphological characteristics of isolated crab (*Coenobita scaevola*), *Environmental Journal* 43(4), 713-723.
- Noroozi Karbasdehi V., Dobaradaran S., Nabipour, I., Arfaeinia, H., Mirahmadi, R., & Keshtkar, M. 2016.** Data on metal contents (As, Ag, Sr, Sn, Sb, and Mo) in sediments and shells of *Trachycardium lacunosum* in the northern part of the Persian Gulf. *Elsevier Inc*, pp. 1-6.
- Oyewo E.O., Don-Pedro K.N. 2003.** Estimated annual discharge rates of heavy metals from industrial sources around Lagos; a West African Coastal Metropolis. *West African Journal of Applied Ecology* 4(1), 115-123.
- Pourang N., Dennis J., Ghourchian H. 2005.** Distribution of heavy metals in *Penaeus semisulcatus* from Persian Gulf and possible role of metallothionein in their redistribution during storage. *Environmental Monitoring and Assessment* 100(1-3), 71-88.
- Rainbow P.S. 2007.** Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. *Environment International* 33(4), 576-582.
- Ramos R.J., Tadokoro C.E., de Carvalho Gomes L., Leite G.R. 2021.** Efficiency in heavy metal purge in crustaceans during the ecdysis. *Environment, Development and Sustainability* 1-30.
- Sadeghi P., Loghmani M., Yousuf D.J., Taghizade Rahmat Abadi Z. 2021.** Ecological and human health risk assessment of trace element pollution in sediments and five important commercial fishes of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 173, 112962.
- Saher N.U., Siddiqui A.S. 2019.** Occurrence of heavy metals in sediment and their bioaccumulation in sentinel crab (*Macrophthalmus depressus*) from highly impacted coastal zone. *Chemosphere* 221, 89-98.
- Shah A.I. 2017.** Heavy metal impact on aquatic life and human health—an over view. In IAIA17 Conference Proceedings| IA's Contribution in Addressing Climate Change 37th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment. pp. 4-7.
- Safaie M., Shokri M.R., Kiabi B.H., Pazooki J. 2015.** Biomass, CPUE and size frequency distribution of blue swimming crab *Portunus segnis* (Forsk., 1775) in coastal waters of the northern Persian Gulf, Iran. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 95(4), 763-771.
- Salvat-Leal I., Verdiell D., Parrondo P., Barcala E., Romero D. 2020.** Assessing lead and cadmium pollution at the mouth of the river Segura (SE Spain) using the invasive blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, Crustacea, Decapoda, Portunidae) as a bioindicator organism. *Regional Studies in Marine Science* 40, 101521.
- Shulkin V.M., Presley B.J., Kavun V.I. 2003.** Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. *Environment International* 29(4), 493-502.
- Sultan K., Shazili N.A., Peiffer S. 2011.** Distribution of Pb, As, Cd, Sn and Hg in soil, sediment and surface water of the tropical river watershed, Terengganu (Malaysia). *Journal of hydro-environment Research* 5(3), 169-176.
- Wang J.Q., Zhang X.D., Jiang L.F., Bertness M.D., Fang C.M., Chen J.K., Hara T., Li B. 2010.** Bioturbation of burrowing crabs promotes sediment turnover and carbon and nitrogen movements in an estuarine salt marsh. *Ecosystems* 13(4), 586-599.
- Xu F., Qiu, L., Cao Y., Huang J., Liu Z., Tian X., Li A., Yin X. 2016.** Trace metals in the surface sediments of the intertidal Jiaozhou Bay, China: sources and contamination assessment. *Marine Pollution Bulletin* 104(1-2), 371-378.

Pattern of bioaccumulation of heavy metals metals in muscle tissues and hepatopancreas of blue swimming crab (*Portunus segnis*) and sediments in the northern coast of Makoran sea

Ameneh Rangiden, Mehran Loghmani*, Mohammad Mansour Tootooni

Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran.

*Corresponding author: loghmani.mehran@gmail.com

Received: 15.July.2024

Accepted: 18.Sep.2024

Abstract

Today, heavy metals are one of the most important toxic pollutants in the ecosystem of aquatic systems, and aquatic animals are exposed to these pollutants. Bioaccumulation of heavy metals in aquatic animals is considered a serious risk in the human food chain. The aim of this research is to investigate the accumulation of cadmium, lead and tin metals in the sediments and in the soft tissue (muscle and hepatopancreas) of the blue swimming crab (*Portunus segnis*) in the Makoran sea (Tis, Bris and Pozm). 18 samples were collected in the winter of 2019 and transferred to the laboratory. After performing biometrics, preparing and digesting the samples, the concentration of heavy metals was read by an atomic absorption spectrometer. The research results showed that in all stations, tin metal concentration in hepatopancreas was more than in muscle and there was a statistically significant difference between the stations ($P<0.05$). The concentration of cadmium and lead metal between the stations was not significant. Lead metal was more in muscle than in hepatopancreas, although the difference was very low. However, cadmium, like tin, was obtained more in the hepatopancreas than in the muscle. The overall mean accumulation of heavy metals tin, lead and cadmium in muscle tissue was 9.33 ± 4.5 , 0.88 ± 0.4 and 0.065 ± 0.017 respectively; in hepatopancreas tissue 16.75 ± 8.4 , 0.37 ± 0.13 and 0.08 ± 0.009 ; in the sediment, it was 125 ± 12.21 , 8 ± 0.32 and 0.14 ± 0.0024 micrograms per gram of dry weight. According to the results, the accumulation pattern for heavy metals in all three studied areas, in tissue and sediment, was obtained as tin>lead>cadmium. In hepatopancreas tissue, which is a detoxifying tissue, a higher concentration of metals was accumulated than in muscle. Comparing the concentration of metals in the blue swimming crab muscle of the study area with international standards (WHO, FAO, FDA and NSHF) showed that the concentration of all three studied metals was lower than all the standards. Therefore, the consumption of the muscle of the blue swimmer crab in the study area does not have any risk. Comparing the results of this study with sediment quality standards showed that cadmium and lead metal had lower concentrations than sediment quality standards. Therefore, it can be concluded that the concentration of metals in the study area was not a threat to the organisms of that area.

Keywords: Heavy metals, Pollution, *Portunus segnis*, Makoran Sea